

CINÉTICA DA SORÇÃO DE FÓSFORO EM SOLOS DOS TRÓPICOS ÚMIDOS DA AMAZÔNIA⁽¹⁾

RAMENDRA SINGH⁽²⁾, M. R. F. MÖLLER⁽³⁾ & W. de A. FERREIRA⁽³⁾

RESUMO

Foram equilibradas amostras superficiais (0-15cm) de seis significativas classes de solos dos trópicos úmidos da Amazônia: Podzólico Vermelho-Amarelo (PV), Latossolo Amarelo (LA), Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), Terra Roxa Estruturada (TE), Gleí Pouco Húmico (GPH) e Solo Aluvial (AL), nas seguintes condições: 2g de solo em 50ml de KCl 0,0184M contendo $20\mu\text{g P ml}^{-1}$, $27 \pm 1^\circ\text{C}$, e tempo variável de agitação de 1 a 32 minutos. O fósforo da solução de equilíbrio, a diferentes tempos, foi tratado de acordo com a equação de Freundlich, encontrando-se que a sorção é um fenômeno em duas etapas, observadas pelas curvas obtidas até seis dias. O "n" usado na equação, que parece aproximar-se da taxa da sorção somente na primeira fase rápida, apresentou valores de $5,3 \times 10^{-3}$ para o Podzólico Vermelho-Amarelo (PV) até $153,7 \times 10^{-3} \mu\text{g ml}^{-1} \text{seg}^{-1}$ para a Terra Roxa Estruturada (TE). A correlação significativa entre a sorção máxima e o "n" ($r = 0,91^{**}$) indica que aqueles solos que sorvem mais fósforo devem ter maior sorção por unidade de tempo, para atender à primeira fase de equilíbrio. O "n" correlacionou-se significativamente com a argila ($r = 0,95^{**}$), CTC ($r = 0,74^*$) e Fe_a ($r = 0,68^*$), parecendo ser esses os fatores que mais influenciam na velocidade de sorção na primeira fase. Os minerais da argila, determinados por difração de raios X, parecem variar pouco; a caulinita dominante (no Gleí Pouco Húmico misturada com a vermiculita cloritizada) e a goethita e hematita, como acessórios, são decisivas na taxa da sorção do fósforo na primeira fase e na quantidade total sorvida.

SUMMARY: KINETICS OF PHOSPHORUS SORPTION IN SOME SOILS OF HUMID TROPICS OF AMAZON, BRAZIL

Surface soil samples (0-15cm) of six major soil groups of Amazonian humid-tropics viz. Red-Yellow Podzolic Soils (PV), Yellow Latosol (LA), Red-Yellow Latosol (LV), Terra Roxa Estruturada (TE), Low Humic Gley Soils (GPH) and Alluvial Soils (AL) were equilibrated under the following conditions: 2g soil in 50ml of 0.0184 M KCl containing $20 \mu\text{g P ml}^{-1}$, $27 \pm 1^\circ\text{C}$, and shaking time varied from 1 to 32 minutes. The P concentration in the equilibrating solution with respect to time was treated according to Freundlich equation. P sorption was found to be a two phase phenomenon as observed from the sorption curve extended to six days. The n value obtained from the equation, appeared to approximate sorption rate only for the first rapid phase and its values varied from 5.3×10^{-3} (for a PV) to $153.7 \times 10^{-3} \mu\text{g ml}^{-1} \text{seg}^{-1}$ (for the TE). The sorption maxima correlated significantly (0.91^{**}) with n value indicating that the soils sorbing more P had to have higher sorption per unit time for attaining first phase equilibrium. The n values correlated significantly with clay ($r = 0.95^{**}$), CEC ($r = 0.74^*$), Fe_a ($r = 0.68^*$) which appeared to be dominant in influencing the rapidity of P sorption in the first phase. The mineral composition of the clay fraction as determined by X-ray analysis presented little variation. Probably the quantity of dominant clay mineral Kaolinite (in GPH chloritized vermiculite was also predominant) and accessory minerals viz goethite and hematite were decisive in the rate of P sorption in the first phase and the quantity of P sorption in general.

(1) Trabalho apresentado no XIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, realizado em Curitiba (PR) de 17 a 24 de julho de 1983. Recebido para publicação em julho e aprovado em novembro de 1983.

(2) Pesquisador do Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura, trabalhando no Convênio Banco Mundial — IICA-EMBRAPA, Caixa Postal 48, CEP 66.000 — Belém (PA).

(3) Pesquisador do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido — CPATU-EMBRAPA, Belém (PA).

CARACTERÍSTICAS DA SORÇÃO DO FÓSFORO RELACIONADAS COM PROPRIEDADES SELECIONADAS DE SOLOS DOS TRÓPICOS ÚMIDOS DA AMAZÔNIA⁽¹⁾

RAMENDRA SINGH⁽²⁾, M. R. F. MÖLLER⁽³⁾ & W. de A. FERREIRA⁽³⁾

RESUMO

Seis classes de solos, Podzólico Vermelho-Amarelo (PV), Latossolo-Amarelo (LA), Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), Terra Roxa Estruturada (TE), Gleí Pouco Húmico (GPH) e Solo Aluvial (AL), com baixos valores de fósforo assimilável e total, variaram quanto a sorção máxima de fósforo desde 158,3 em um Podzólico Vermelho-Amarelo (PV) até 979 $\mu\text{g P g}^{-1}$ num Gleí Pouco Húmico (GPH), conforme foi determinado pelas isotermas de sorção de Langmuir, construídas nas seguintes condições: 2g de solo em 50ml de solução 0,0184M de KCl contendo concentrações variáveis de fósforo desde 0 até 25 $\mu\text{g ml}^{-1}$; $27 \pm 1^\circ\text{C}$; e tempo de equilíbrio de seis dias. A sorção máxima e a constante relativa à energia de sorção foram relacionadas às propriedades dos solos, obtendo-se respectivamente, as seguintes seqüências em significância estatística: CTC > argila > Al trocável > Fe_d > carbono orgânico > Fe_o > Al_d , e argila > CTC > Al trocável > Fe_d > Al_d . A melhor equação ajustada pela análise de regressão linear múltipla passo a passo para prever o fenômeno, sorção máxima = $26,41 + 7,654 (\text{argila}) + 15,37 (\text{CTC}) + 81,829 (\text{Al trocável})$, explica 92% da variação na sorção máxima de fósforo. Outras equações de regressão alternativas, ajustadas pela substituição de argila por Fe_d , argila por Al_d , Al trocável por pH e CTC por carbono orgânico, podem também explicar, respectivamente, 92, 88, 85 e 85% da variação na sorção máxima. A CTC e a argila foram as características do solo mais marcantes na sorção do fósforo, para os solos analisados em conjunto e os Podzólicos Vermelho-Amarelos (PV) separadamente. A fração argila, onde predominam caulinita com óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio como acessórios, exerce papel ativo na sorção do fósforo. A sorção parece relacionar-se melhor com o $\text{Fe}_d > \text{Fe}_o$ e Fe_d e $\text{Fe}_o > \text{Al}_d$.

SUMMARY: CHARACTERISTICS OF PHOSPHORUS SORPTION RELATED WITH SELECTED PROPERTIES OF SOME SOILS OF HUMID TROPICS OF AMAZON, BRAZIL

Six major soil types viz, Red-Yellow Podzolic soil (PV), Yellow Latosol (LA), Red-Yellow Latosol (LV), "Terra Roxa Estruturada" (TE), Low Humic Gley (GPH) and Alluvial Soils (AL) low in total and available P varied in sorption maxima from 158.3 for a Red-Yellow Podzol (PV) to 979 $\mu\text{g P g}^{-1}$ for a Low Humic Gley (GPH) as determined from Langmuir sorption isotherms constructed as per following conditions: 2g of soil in 50ml solution of 0.0184M KCl containing 0 to 25 $\mu\text{g P ml}^{-1}$; $27 \pm 1^\circ\text{C}$; and a six days for equilibration. The sorption maxima and the constant related to sorption energy were correlated to soil properties and their sequences of significance were CEC > clay > exchangeable Al > Fe_d > organic carbon > Fe_o > Al_d and clay > CEC > exchangeable Al > Fe_d > Al_d , respectively. The best prediction equation fitted by stepwise multiple linear regression analysis i.e. sorption maxima = $26.41 + 7.654 (\text{clay}) + 15.37 (\text{CEC}) + 81.829 (\text{exchangeable Al})$ explained 92 per cent variations in the sorption maxima. Alternate regression equation fitted by substitution of clay by Fe_d , clay by Al_d , exchangeable Al by pH and CEC by organic carbon could also explain respectively 92, 88, 85 and 85 per cent variations in sorption maxima. CEC and clay were found to be predominant soil characteristics in P sorption, whether all or Red-Yellow Podzolic soils (PV). The clay fraction, predominantly containing Kaolinite and accessory oxides and hydrous oxides of Fe and Al, exercised an active role in P sorption. P sorption apparently related more closely to $\text{Fe}_d > \text{Fe}_o$ and Fe_d and $\text{Fe}_o > \text{Al}_d$.

(1) Recebido para publicação em julho e aprovado em novembro de 1983.

(2) Pesquisador do Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura, trabalhando no Convênio Banco Mundial — IICA — EMBRAPA, Caixa Postal 48, CEP 66.000 — Belém (PA).

(3) Pesquisador do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (CPATU-EMBRAPA), Belém, (PA).

INTRODUÇÃO

Observa-se habitualmente nos solos tropicais uma resposta diferencial das culturas a um mesmo nível de fósforo aplicado ou vice-versa. Além disso, são necessárias, na maioria das vezes, grandes aplicações de fósforo para alcançar o rendimento ótimo das diferentes culturas, como foi amplamente demonstrado numa coletânea de trabalhos, com resultados de experimentos de campo, conduzidos desde 1965 na região Norte do Brasil (Cruz et alii, 1982). O problema da disponibilidade de fósforo na região parece ser acentuado pelos baixos níveis de fósforo natural total e fósforo assimilável de seus solos (Vieira, 1971), além da aparente alta capacidade desses solos em tornar o fósforo adicionado, de solúvel em água, a não disponíveis às culturas. O grau em que tais solos sorvem, imobilizam e finalmente tornam o fósforo aplicado não disponível para as plantas, é obscuro e requer estudos detalhados.

As isotermas de sorção de Langmuir, têm sido largamente utilizadas, para avaliar a magnitude da sorção de fósforo em relação às propriedades dos solos nos trópicos de diversos países (Fassbender, 1966; Rajan & Fox, 1972; Udo & Uzu, 1972; Vijayachandran & Harter, 1975; Cajuste, 1979, e Loganathan & Fernando, 1980). No Brasil, também foram feitos muitos estudos usando esta metodologia para melhor entender o comportamento do fósforo aplicado em solos brasileiros. Como fatores predominantes que influenciam na capacidade de sorção de fósforo foram identificadas, a argila (Sá Jr. et alii, 1968; Leal & Velloso, 1973a; Faria et alii, 1976 e Santana & Moura Filho, 1978), matéria orgânica (Leal & Velloso, 1973a; Faria et alii, 1976), óxidos e oxidróxidos de ferro e/ou alumínio (Leal & Velloso, 1973a; Braga & Ribeiro, 1975; Faria et alii, 1976, e Cabala-Rosand & Wild, 1982), alumínio trocável (Sá Jr. et alii, 1968) e, capacidade de troca de cátions (Santana & Moura Filho, 1978). Almeida Neto & Brasil Sobrinho (1977), mostraram que os solos com maior capacidade de sorção de fósforo necessitam doses mais elevadas de fósforo para alcançarem o nível ótimo as plantas.

O presente trabalho visou desenvolver estudos semelhantes com diferentes tipos de solos dos trópicos úmidos da região Amazônica, tendo o objetivo de determinar as características da sorção de fósforo e suas relações com as propriedades físico-químicas dos solos.

MATERIAL E MÉTODOS

Solos e análises — Foram utilizadas vinte e quatro amostras de solos (0-15cm) coletadas na região tropical úmida amazônica (Quadro 1), representando as seis classes de solos de maior ocorrência na área, isto é, Podzólico Vermelho-Amarelo (PV), Latossolo Amarelo (LA), Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), Terra Roxa Estruturada (TE), Gleia Pouco Húmico (GPH) e Solo Aluvial (AL).

As amostras foram secas ao ar e passadas em peneira de aço inoxidável de 1mm. A análise mecânica foi efetuada pelo método da pipeta, usando-se como

agente dispersante o NaOH (Guimarães et alii, 1970), o carbono orgânico, determinado pelo método de Walkley & Black (1934), e o pH medido na suspensão solo/água em proporção 1:1. A capacidade de troca de cátions (CTC) foi obtida, utilizando-se o sódio como índice (Hesse, 1971) e o alumínio trocável, extraído com KCl M, foi determinado por titulação com NaOH (Guimarães et alii, 1970). Os amorfos foram extraídos com oxalato de amônio pH 3,0 (McKeague & Day, 1966) e os óxidos livres pelo citrato-ditionito-bicarbonato (CDB) (Jackson, 1969), determinando-se o ferro e o alumínio dos extratos, respectivamente, pela ortofenantrolina e aluminon.

O fósforo assimilável dos solos foi extraído pelo extrator de Mehlich ($\text{HCl } 0,05 \text{ N} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,025 \text{ N}$) e determinado pelo método de Murphy e Riley modificado (Watanabe & Olsen, 1965). Para a estimativa do fósforo total, utilizou-se o método de Tandon et alii (1968).

Medida da sorção de fósforo — No laboratório, foi conduzido um experimento preliminar com a finalidade de determinar o tempo ótimo de reação da sorção de fósforo. Para isso, equilibraram-se 2g de solo com 50ml de KCl 0,0184M contendo $20 \mu\text{g P ml}^{-1}$ (KH_2PO_4). Os equilíbrios foram feitos em erlenmeyers de 125ml, com agitações horizontais de trinta minutos duas vezes ao dia e temperatura de $27 \pm 1^\circ\text{C}$, por períodos de um a seis dias, tendo-se o cuidado de adicionar duas gotas de tolueno em cada amostra, para evitar a atividade de microrganismos. Após a filtração em papel de filtro nº 42, o fósforo foi determinado nos extratos limpidos, pelo método descrito anteriormente. Em amostras onde o filtrado se apresentava turvo, centrifugou-se o mesmo por trinta minutos a 5.000 rpm, antes das determinações.

O fósforo eliminado da solução foi considerado como tendo sido sorvido, e o remanescente ($\mu\text{g P ml}^{-1}$), que tomou valores quase constantes ao fim de seis dias nos diferentes grupos de solos, foi plotado contra tempo (Figura 1). A figura 1 parece indicar que seis dias é o tempo de reação ótimo necessário para atingir o equilíbrio de quase todos os solos. O mesmo tempo de reação foi encontrado por Fox & Kamprath (1970) para

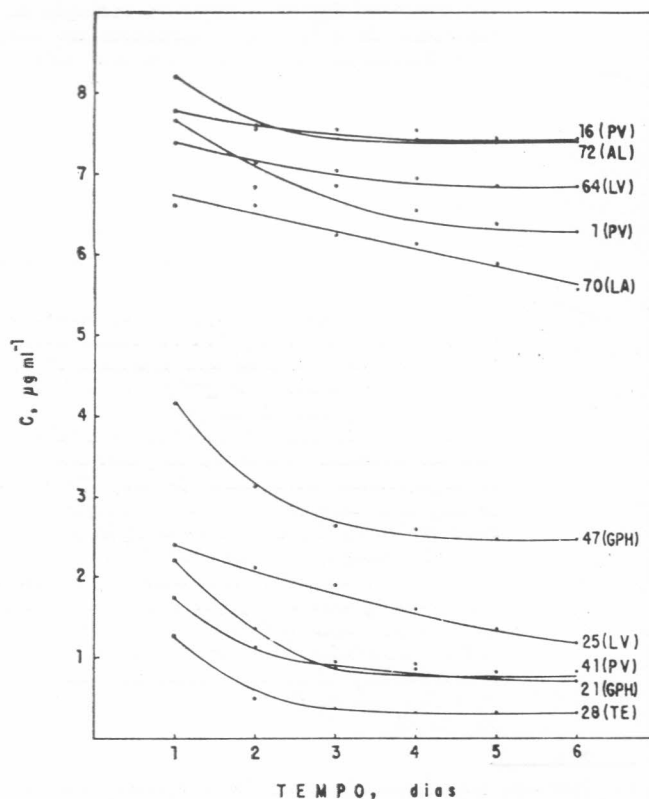


Figura 1. Relação entre o fósforo remanescente na solução de equilíbrio com o tempo

solos da região temperada e por Rajan & Fox (1972) e Loganathan & Fernando (1980) para solos da região tropical. Por isso, o período de seis dias foi utilizado nos estudos subsequentes.

Na obtenção das isotermas de sorção de Langmuir, foi utilizado o mesmo procedimento descrito, anteriormente exceto pelos nove níveis de fósforo em solução 0,0184M de KCl, que variaram de 0 a 25 μ g de P ml⁻¹. Os dados assim obtidos foram analisados pela seguinte forma da equação de Langmuir:

$$C/(x/m) = (1/K_1K_2) + (C/K_2)$$

onde:

x/m = quantidade de fósforo sorvida, por unidade de peso de solo (μ g g⁻¹);

K_1 = constante relativa à energia de ligação (ml μ g⁻¹);

K_2 = sorção máxima (μ g g⁻¹), e

C = concentração de P na solução de equilíbrio (μ g ml⁻¹).

Um gráfico com $C/(X/m)$ versus C mostra a linha reta da qual K_2 (declividade)⁻¹ e K_1 (declividade x interceção⁻¹) podem ser obtidos.

Análise estatística — Os valores de K_1 e K_2 obtidos para todos os solos foram correlacionados com propriedades dos solos. Foi também feita uma análise de regressão linear passo a passo, para determinar as propriedades do solo que melhor podem explicar a variação da sorção máxima dos solos estudados.

RESULTADOS

Propriedades do solo

As seis classes de solos estudadas apresentam ampla variação em suas propriedades físico-químicas (Quadro 1).

Comparando-as, observa-se que a maior variação ocorre na classe dos PV. Todos os solos apresentaram reação ácida, com pH variando de 4,10 em um PV a 6,30 numa TE; nível de carbono orgânico, salvo algumas exceções, baixo a médio, e textura franco-arenosa (PV) a muito argiloso (TE). A CTC, na maioria das vezes baixa, teve valores na faixa de 3,08 em um LA até 27,75meq (100g)⁻¹ num GPH, com saturação de Al variando de 0 até 80%. Todos os solos estudados são muito intemperizados, ou talvez se originem de materiais altamente intemperizados contendo quase sempre caulinita e óxidos e oxidróxidos de ferro e alumínio cristalinos e amorfos.

As inter-relações mais marcantes entre as propriedades dos solos são mostradas no quadro 2.

Fósforo total e assimilável

Nos solos estudados, o fósforo total variou de 14 a 577ppm, apresentando uma média de 146ppm e o fósforo assimilável de 0,46 a 9,79ppm com uma média de 4,05ppm, mostrando que os solos são deficientes em fósforo (Quadro 1).

Isotermas de sorção

As isotermas de sorção de Langmuir, construídas para as seis classes de solos, ajustaram-se nas linhas retas com um $r^2 > 0,90$ e na análise da variância, o valor F para cada equação foi

significativo a $P = 0,01$. Apesar de terem uma considerável semelhança, o que permite uma separação das classes de solos pelas isotermas, dentre cada classe de solo a variação da tendência das isotermas pode ser talvez explicada, pelas variações das propriedades físico-químicas dos solos. Assim, por exemplo, a maior variação na tendência das isotermas foi encontrada na classe dos PV, solos onde encontrou a maior variação nas características físico-químicas.

Características da sorção

As sorções máximas, determinadas pelas isotermas, variaram de 158,3 em um PV a 979,0 μ g P g⁻¹ num GPH. As médias das capacidades de sorção encontradas para as diferentes classes de solo estudadas (TE > GPH > LV > LA > PV > AL) obedecem a mesma seqüência que a média dos valores das constantes relacionadas com a energia de sorção (Quadro 1).

Propriedades dos solos \times características da sorção

A sorção máxima e a constante da energia de sorção relacionaram-se significativamente com várias propriedades dos solos estudados (Quadro 2). Em termos de significância estatística entre a sorção de fósforo e as propriedades dos solos, observou-se a seguinte ordem: CTC > argila > Al trocável > Fe_a > carbono orgânico > Fe_o > Al_a. Já para a constante que representa a energia de sorção, apesar de a argila ser aparentemente um fator mais marcante que a CTC, não foram encontradas relações significativas entre esta constante e o carbono orgânico e o Fe_o. A seqüência argila > CTC > Al trocável > Fe_a > Al_a obtida relaciona as propriedades dos solos estudados, com a energia de sorção.

Para a classe dos PV, os graus de liberdade foram suficientes a permitir uma análise estatística separada. Nela, os valores dos coeficientes de correlação (Quadro 3), indicam a seguinte ordem de influência das propriedades destes solos na sorção de fósforo: CTC = argila > carbono orgânico > Al trocável > Fe_a > pH, e, na constante da energia de sorção: CTC > Al trocável > carbono orgânico > argila > pH.

As análises de regressão mostraram a maior importância da CTC na sorção de fósforo, levando-se em consideração que esta característica, sozinha, pode explicar 72% da variação observada nos solos analisados em conjunto (Quadro 4) e, 82% na classe dos PV (Quadro 5).

Nos PV, o conteúdo de argila também pode explicar, no mesmo grau que a CTC, a variação da sorção de fósforo. Na análise de regressão linear múltipla passo a passo para o conjunto de solos, o grau de predição da sorção do fósforo melhorou pela inclusão de outras propriedades além da CTC, mas o mesmo não ocorreu com a classe dos PV (Quadro 6). A melhor equação de regressão para os solos analisados em conjunto foi aquela ajustada com as três variáveis CTC,

Quadro 1. Propriedades físicas e químicas, sorção máxima de fósforo e constante de energia de ligação de amostras de solos estudados

Nº	Local	Textura	pH	Carbono orgânico	Argila	CTC	Al trocável	Fe _d	Al _d	Fe _c	Al _o	P disponível	P total	Sorção máxima (K ₂)	Contante relacionada com energia de ligação (K ₁)
				— % —			— meq/100g —	%	ppm			µg P g ⁻¹	ml µg ⁻¹		
Podólico Vermelho-Amarelo															
1	Capitão Poço (PA)	FrancoArenoso	5,55	0,63	14	3,96	0,20	0,84	1.359	229	115	2,27	80	337,9	0,28
7	Capitão Poço (PA)	FrancoArenoso	6,15	1,09	14	7,48	0,00	1,20	455	167	94	2,94	58	229,9	0,45
11	Capitão Poço (PA)	FrancoArenoso	5,85	0,86	18	7,04	0,00	1,00	62	110	81	2,48	50	182,1	0,25
12	Tracuateua (PA)	FrancoArenoso	5,00	0,68	14	6,60	0,80	1,27	557	132	104	3,02	87	250,5	1,10
16	Tracuateua (PA)	Areia Franca	5,35	1,02	8	5,28	0,40	0,43	0	110	104	6,64	58	184,3	0,39
31	Altamira (PA)	Areia Franca	5,30	0,52	13	4,84	0,20	0,94	659	67	104	8,90	102	158,3	0,25
41	Mazagão (AP)	Argila	4,10	2,42	49	19,36	2,81	2,87	1.478	526	159	3,67	141	785,5	2,63
49	Tomé-Açu (PA)	Franco-Argilo-Arenoso	5,40	0,84	29	7,92	0,20	1,37	1.243	432	70	5,45	36	333,2	0,84
51	Tomé-Açu (PA)	Franco-Arenoso	5,40	0,84	16	7,48	0,60	0,51	321	343	64	9,79	235	392,9	1,93
55	Igarapé-Açu (PA)	Areia Franca	5,50	0,60	7	3,96	0,00	0,51	0	244	172	3,38	14	189,2	0,36
59	Santa Isabel (PA)	Areia Franca	5,60	0,69	8	5,28	0,40	0,47	873	153	59	2,09	14	163,2	0,65
66	Boa Vista (RR)	Franco-Argiloso	6,00	1,10	34	13,20	0,00	4,59	22.345	5.262	59	1,93	235	460,4	1,29
Latossolo Amarelo															
33	Macapá (AP)	Franco-Argilo-Arenoso	4,65	0,74	23	6,60	0,60	1,06	387	67	94	0,68	29	416,8	1,47
39	Macapá (AP)	Franco-Argilo-Arenoso	5,20	0,80	26	7,48	0,80	1,73	659	40	98	0,77	21	454,0	1,45
70	Boa Vista (RR)	Franco-Argilo-Arenoso	4,90	0,16	25	3,08	0,40	0,47	729	27	64	0,46	29	290,3	0,95
Latossolo Vermelho-Amarelo															
25	Altamira (PA)	Franco-Argilo-Arenoso	5,10	0,55	28	10,56	1,61	2,40	945	110	109	1,29	95	639,4	2,34
64	Boa Vista (RR)	Franco-Argilo-Arenoso	5,30	0,40	23	5,28	0,40	0,90	255	53	164	1,24	14	221,1	0,45
Terra Roxa Estruturada															
23	Altamira (PA)	Muito Argiloso	4,90	1,37	67	16,28	0,20	15,25	22.734	506	2.283	2,49	560	748,6	2,23
28	Altamira (PA)	Muito Argiloso	6,30	0,86	61	14,96	0,00	15,25	22.734	739	2.292	0,96	577	868,7	4,38
Glei Pouco Húmico															
21	Viseu (PA)	Argila Siltoso	4,85	4,32	41	27,75	0,80	1,22	521	859	121	3,24	87	824,8	2,71
45	Mazagão (AP)	Franco-Siltoso	5,20	0,95	22	17,04	0,80	1,54	1.168	10.788	9.740	5,72	361	575,2	1,36
47	Mazagão (AP)	Franco-Siltoso	5,15	1,10	21	22,44	1,00	1,67	522	8.593	7.700	8,67	393	605,8	1,07
57	Santa Isabel (PA)	Franco-Argilo-Siltoso	4,30	0,72	30	18,92	4,60	1,43	1.018	8.593	64	9,44	205	979,0	4,50
Aluvial															
72	Boa Vista (RR)	Franco	4,70	0,46	14	3,96	1,20	0,11	0	199	70	9,67	14	239,5	0,29

Quadro 2. Matriz de correlação simples para a sorção máxima de fósforo e propriedades de amostras dos solos

Propriedade	Constante Sor- relacionada ção energia de máxi- de liga- ma ção		pH	Carbono Argila		CTC	Al trocável	Fe _d	Al _d	Fe _o	Al _o
	μg g ⁻¹	ml μ ⁻¹		orgânico	%						
Sorção máxima (μg g ⁻¹)	1	0,92**	-0,37ns	0,50*	0,78**	0,85**	0,59**	0,53**	0,41*	0,45*	0,29ns
Constante relaciona- da com energia de ligação (ml μg ⁻¹)		1	-0,27ns	0,34ns	0,72**	0,66**	0,59**	0,54**	0,41*	0,29ns	0,08ns
pH			1	-0,24ns	-0,15ns	-0,29ns	-0,72**	0,21ns	0,34ns	-0,13ns	0,02ns
Carbono orgânico (%)				1	0,43*	0,74**	0,14ns	0,10ns	0,06ns	0,03ns	0,03ns
Argila (%)					1	0,62**	0,16ns	0,84**	0,73**	0,06ns	0,12ns
CTC (meq/100g)						1	0,43*	0,34ns	0,27ns	0,57**	0,47*
Al trocável (meq/100g)							1	-0,14ns	-0,23ns	0,41*	0,01ns
Fe _d (%)								1	0,89**	-0,01ns	0,18ns
Al _d (ppm)									1	0,08ns	0,10ns
Fe _o (ppm)										1	0,76**
Al _o (ppm)											1

* Significativo 0,05. ** Significativo 0,01. ns Não significativo a 0,05.

Quadro 3. Correlação simples para a sorção máxima de fósforo e constante relacionada à energia de ligação com as propriedades de amostras dos Podzólicos Vermelho-Amarelos

Propriedades dos solos	Valor do coeficiente de correlação	
	Sorção de fósforo	Constante relacionada à energia de ligação
pH	-0,61*	-0,64*
C.O. (%)	0,85**	0,75**
Argila (%)	0,91**	0,74**
CTC (meq/100g)	0,91**	0,83**
Al trocável (meq/100g)	0,80**	0,81**
Fe _d (%)	0,66*	0,49ns
Al _d (ppm)	0,32ns	0,21ns
Fe _o (ppm)	0,35ns	0,25ns
Al _o (ppm)	0,24ns	0,08ns

* Significativo a 0,01. ** Significativo a 0,05 ns Não significativo a 0,05.

Quadro 4. Relação entre a sorção máxima de fósforo e as propriedades de amostras dos solos

Propriedade	Equação de regressão	r ²
Carbono orgânico (%)	Y = 287,254 + 153,352X	0,25
Argila (%)	Y = 120,284 + 12,636X	0,61
CTC (meq/100g)	Y = 112,311 + 31,757X	0,72
Al trocável (meq/100g)	Y = 330,487 + 144,28 X	0,34
Fe _d (%)	Y = 356,194 + 33,592X	0,29
Al _d (ppm)	Y = 391,274 + 0,0141X	0,17
Fe _o (ppm)	Y = 381,907 + 0,0356X	0,20

O valor “F” pela análise de variância de cada equação de regressão linear foi significativo ao nível de 0,01% à exceção de carbono orgânico, Al_d e Fe_o que foram significativo ao nível de 0,05%.

Quadro 5. Regressão linear passo a passo entre a sorção máxima de fósforo e as propriedades de amostras dos Podzólicos Vermelho-Amarelos

Propriedades dos Solos	Equação de regressão	r ²
CTC (meq/100g)	Y = 21,442 + 36,906 (CTC)	0,82
Argila (%)	Y = 62,61 + 13,018 (Argila)	0,82
Carbono Orgânico (%)	Y = 17,680 + 306,044 (C.O.)	0,73
Al trocável (meq/100g)	Y = 219,701 + 183,776 (Al trocável)	0,63
Fe _d (%)	Y = 176,007 + 97,207 (Fe _d)	0,43

O valor de "F" pela análise de variância de cada equação de regressão linear foi significativo ao nível de 0,01%, a exceção de Fe_d, que foi significativo ao nível de 0,05%.

Quadro 6. Regressão linear passo a passo entre a sorção máxima de fósforo e as propriedade de amostras dos solos

Propriedades dos solos	Equação de regressão	r ²
CTC (meq/100g)	Y = 112,311 + 31,757 (CTC)	0,72
Argila (%) e CTC	Y = 42,329 + 6,712 (argila) + 22,107 (CTC)	0,83
Argila, CTC e Al trocável (meq/100g)	Y = 26,41 + 7,654 (argila) + 15,37 (CTC) + 81,829 (Al trocável)	0,92
Substituição da argila por Fe _d CTC, Al trocável e Fe _d (%)	Y = 94,819 + 19,692 (CTC) + 102,981 (Al trocável) + 26,111 (Fe _d)	0,92
Substituição da argila por Al _d CTC, Al trocável e Al _d (ppm)	Y = 101,081 + 21,278 (CTC) + 104,037 (Al trocável) + 0,012 (Al _d)	0,88
Substituição do Al trocável pelo pH pH, argila e CTC	Y = 409,862 - 67,318 (pH) + 6,815 (argila) + 20,414 (CTC)	0,85
Substituição da CTC por C.O. C.O. (%) argila e Al trocável	Y = 44,961 + 48,571 (C.O.) + 10,339 (argila) + 113,513 (Al trocável)	0,85

O valor de "F" pela análise de variância de cada equação de regressão linear foi significativo ao nível de 0,01%.

argila e Al trocável seguida pela equação com a CTC, Al trocável e Fe_d isto é, pela substituição da argila pelo valor de Fe_d, que ainda pode explicar 92% de variação de sorção máxima. A substituição foi possível, uma vez que a argila se correlacionou significativamente com o Fe_d (r = 0,84**). Da mesma forma, outras substituições, tais como argila por Al_d, Al trocável por pH e CTC por carbono orgânico permitiram ajustar equações de regressão linear alternativas onde, no entanto, os valores r² foram menores isto é, entre 0,85 e 0,88. O fato, porém, de as equações alternativas ainda explicarem em grande parte as variações da sorção de fósforo, mostra a significância da substituição das variáveis nessa sorção, embora o efeito pareça ser mascarado pelas variáveis predominantes, com as quais elas estão fortemente correlacionadas.

DISCUSSÃO

As seis classes de solos (PV, LA, LV, TE, GPH e AL) dos trópicos úmidos da Amazônia não são somente baixas em fósforo total e disponível, mas, também, têm alta capacidade de sorção de fósforo, conforme foi estimado pelas isotermas de sorção de Langmuir. A seqüência das capacidades de sorção máxima de P obtida (TE > GPH > LV > LA > PV > AL) está de acordo com os resultados de Jorge (1980), que

encontrou maior sorção de P na TE que no LV e PV, assim como Anastácio (1968) e Cavalcanti & Mello (1977a e b), que observaram maior sorção nos latossolos que nos podzólicos. A TE tem a maior energia de sorção, sorção máxima e níveis relativamente altos de CTC, carbono orgânico, Fe_d, Al_d Fe_o, com as sorções máximas dos quais todos os solos se correlacionaram significativamente. Nelas, encontraram-se baixos níveis de Al trocável, fator que não é tão importante na sorção de fósforo, como foi mostrado nas correlações dos solos analisados em conjunto e dos PV em separado. A menor sorção de P foi encontrada no AL, que também apresentou baixos valores para as características que se correlacionaram com a sorção máxima de P.

Analisando os solos em conjunto e os PV separadamente, encontrou-se que a CTC e a argila foram, dentre todas as características dos solos, as mais importantes na sorção de P. O fato de a inclusão da argila com a CTC na equação de regressão linear ter melhorado a predição da variação da sorção máxima de P indica a importância da superfície específica na sorção, de P, como havia sido notado por Olsen & Watanabe (1957) e Rennie & McKercher (1959). Além disso, outros estudos com solos tropicais também indicaram estrita correlação entre sorção de P e argila (Owen, 1947; Sá Júnior et alii, 1968; Fass-

bender, 1969; Syers et alii, 1971; Udo & Uzu, 1972, e Leal & Velloso, 1973a; Lopez-Hernandes & Burnham, 1974a; Faria et alii, 1976; Santana & Moura Filho, 1978, e Loganathan & Fernando, 1980). Visto que nos solos estudados a caulinita é o argilo-mineral predominante da fração argila (Singh et alii, 1983), a significância relativamente grande do conteúdo de argila na sorção de fósforo pode ser, talvez, explicada pelo mecanismo de sorção do P pela caulinita, postulado por Muljadi et alii (1966), Kuo & Lotse (1972), Vasconcellos et alii (1974) e Taylor & Ellis (1978). Além disso, como a argila desses solos contém óxidos e oxidróxidos de ferro e alumínio, semelhante ao que foi encontrado em alguns solos ácidos de plantações de côco em Sri Lanka (Loganathan & Fernando, 1980), esses minerais devem exercer um papel ativo na sorção de fósforo. Moura Filho et alii (1972) mostraram que o maior componente da fração argila ($<2\mu$) de latossolo roxo é o ferro livre, provavelmente como cristais individuais de hematita, que é mais envolvida nas reações com o fósforo adicionado. Uma evidência indireta de que os óxidos e oxidróxidos de ferro e alumínio que formam parte da fração argila influenciam na sorção de P dos solos estudados foi, também, fornecida pela análise de regressão linear múltipla passo a passo, pois a equação de regressão alternativa, ajustada pela substituição da argila por Fe_d e Al_d , ainda explica mais de 88% das variações da sorção máxima de P (Quadro 6). Por outro lado, Syers et alii (1973), num estudo de solos brasileiros no Rio Grande do Sul, mostraram a significância das reações que envolvem os grupos OH da superfície de compostos secundários de ferro e alumínio numa reação inicial, responsável pela maior parte da sorção de P pelos solos.

Como foi mencionado anteriormente, nos solos estudados, a CTC sozinha pode explicar o alto grau das variações da sorção máxima de P ($r = 0,72^{**}$), o que está de acordo com os resultados de Santana & Moura Filho (1978), embora Loganathan & Fernando (1980) não tenham estabelecido relação tão significativa entre a CTC e a sorção de P. A estreita correlação entre a CTC e a sorção máxima de P nos solos estudados poderia ser explicada pela sorção de P através do partilhamento das valências dos cátions trocáveis, predominantemente ferro e alumínio, entre as micelas de argila e os íons fosfato. Similarmente, o compartilhamento das valências dos cátions trocáveis pode ter lugar entre os íons orgânicos carregados negativamente e os íons fosfatos. Isso parece corroborar com a correlação significativa entre o carbono orgânico e a argila, com a CTC dos solos. O Al trocável correlacionou-se significativamente com a argila ($r = 0,43^*$) e com a sorção máxima de fósforo ($r = 0,59^{**}$). O carbono orgânico correlacionou-se significativamente com a sorção máxima de P, mas não se relacionou com o Al trocável, indicando que o complexo Al-carbono orgânico talvez não seja tão importante na sorção de P como o complexo Al-argila.

Coleman et alii (1960) mostraram o envolvimento do complexo Al trocável-argila na fixação de fósforo onde ocorreu precipitação de complexos fosfatados de alumínio com composição geral de variscita. Syers et alii (1973) encontraram que o Al trocável ou o Al ligado organicamente foram as responsáveis pela parte secundária e final da sorção de P em alguns solos do Sul do Brasil. Esses resultados discordam dos encontrados neste trabalho.

A matéria orgânica do solo, além de influenciar na sorção de P através do sistema complexo orgânico/cátions trocáveis, podem também sorver P ou, senão, bloquear os sítios potenciais de sorção. Neste estudo, a correlação positiva do carbono orgânico com a sorção de P também indica o papel indireto da matéria orgânica, o que está de acordo com resultados similares encontrados para solos tropicais por Ahenkorah (1968); Fassbender (1969); Leal & Velloso (1973a); Lopez-Hernandez & Burnham (1974a); Faria et alii (1976); Kanabo et alii (1978), e Cajuste (1979).

A sorção de P nos solos parece estar mais estreitamente relacionada ao $Fe_d > Fe_o$ e Fe_d e $Fe_o > Al_d$. No entanto, estas relações não puderam ser estabelecidas com o Al_o , nem para os solos analisados em conjunto, nem para a classe dos PV isoladamente. Nos solos tropicais altamente intemperizados, o papel dos óxidos e oxidróxidos de Fe e/ou Al na sorção de P tem sido consideravelmente enfatizado na literatura (Pratt et alii, 1969; Bittencourt & Zambello Jr., 1973; Leal & Velloso, 1973a; Braga & Ribeiro, 1975; Faria et alii, 1976; Partfitt, 1978, e Cabala-Rosand & Wild, 1982), mas o grau em que eles contribuem no processo parece variar para diferentes solos e condições (Fassbender, 1968). Talvez a maior fonte de variação seja a magnitude das formas de ferro e alumínio trocáveis, amorfos e cristalinos. A relação mais estreita do Fe_d que aquela do Fe_o e Al_d com a sorção de P está de acordo com o trabalho de Loganathan & Fernando (1980), mas é contrária aos de Saunders (1965); Syers et alii (1971), e Udo & Uzu (1972) para os solos tropicais. Entretanto, Syers et alii (1971) e Udo & Uzu (1972) acreditam na maior importância do Al trocável na precipitação do que as formas amorfas e cristalinas de Fe e Al, o que está de acordo com os resultados encontrados neste trabalho, analisando-se os solos em conjunto ou apenas os PV.

Enquanto as maiores variações da sorção máxima de P podem ser explicadas pelas equações que contêm a contribuição de argila, CTC e Al trocável e, CTC, Al trocável e Fe_d (Quadro 6), a inclusão de outras variáveis, tais como Al_d , pH e carbono orgânico, em substituição a uma ou outra variável predominante, como argila, CTC e Al trocável, ainda mantém um nível alto de predição da sorção máxima de P. Isso se deve à forte inter-relação das variáveis entre si (Quadro 2).

Não obstante, o pH não se relacionou significativamente com a sorção máxima de P, mas encontrou lugar em uma equação de regressão ajustada (Quadro 6). O coeficiente negativo do pH nessa equação indica que deve haver uma tendência geral do decréscimo da sorção de P com o aumento de pH a certa extensão. Camargo et alii (1974) encontram correlação negativa significativa entre pH e sorção de fósforo caracterizada pelo índice de Bache e Williams. Leal & Velloso (1973b) acharam que o pH tem grande influência sobre a sorção máxima de fosfato dos latossolos, diminuindo a sorção com a elevação do pH da solução em equilíbrio de 4 para 7. Lopez-Hernandez & Burnham (1974b) mostraram que, em alguns solos de regiões temperadas, a calagem que leva a um aumento do pH do solo e, concomitantemente, diminui o Al trocável e o Al extraído pelo acetato, é acompanhada pelo decréscimo da sorção de P. Talvez esta linha de pesquisa seja necessária ser proposta para os solos da Amazônia, se for levado em conta o manejo do P e sua eficácia.

Este trabalho indicou o papel predominante da fração argila na sorção de fósforo, por isso está sendo efetuado um trabalho detalhado sobre as características da sorção de fósforo na fração argila dos solos, em comparação com o solo em presença e ausência de óxidos de ferro. Este estudo deverá trazer informações sobre o papel dos diferentes argilominerais na sorção de fósforo.

LITERATURA CITADA

- AHENKORAH, Y. Phosphorus-retention capacities of some cocoa growing soils of Ghana and their relationship with soil properties. *Soil Sci.*, 105:24-30, 1968.
- ALMEIDA NETO, J. X. & BRASIL SOBRINHO, M. O. C. Fixação de fósforo em três solos sob cerrado de Goiás. *R. bras. Ci. Solo*, 1:12-15, 1977.
- ANASTÁCIO, M. L. A. Fixação de fósforo nos solos brasileiros. Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1968. 12p. (Boletim Técnico, 4)
- BITTENCOURT, V. C. & ZAMBELLO JR., E. Comportamento do fósforo em solos tropicais. I. Isotermas de adsorção. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 1973. 23p. (BC 012)
- BRAGA, J. M. & RIBEIRO, A. C. Adsorção de fósforo no solo. I. Influência da reação solo: solução, na determinação da capacidade máxima de adsorção. *R. Ceres*, 22:81-87, 1975.
- CABALA-ROSAND, P. & WILD, A. Phosphate adsorption characteristics of three soils from southern Bahia, Brazil. *Pesq. agropec. bras.*, 17:1013-1021, 1982.
- CAJUSTE, L. J. Adsorción de fósforo en algunos suelos de origen volcánico de Mexico y su relación con ciertos componentes del suelo. *Agrociencia*, 36:137-144, 1979.
- CAMARGO, O. A.; RAIJ, B. Van; GROHMANN, F. Fixação do fósforo em solos avaliados pelo índice de Bache e Williams e sua correlação com outras propriedades. *Cienc. Cult.*, 28:681-685, 1974.
- CAVALCANTI, F. J. A. & MELLO, F. A. Fatores que afetam a fixação do fósforo. I. Período de incubação. *Anais Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz"*, 34:445-455, 1977a.
- CAVALCANTI, F. J. A. & MELLO, F. A. Fatores que afetam a fixação do fósforo. II. Concentração da solução adicionada. *Anais Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz"*, 34:457-467, 1977b.
- COLEMAN, N. T.; THORUP, J. T.; JACKSON, W. A. Phosphate sorption reactions that involve exchangeable Al. *Soil Sci.*, 90:1-17, 1960.
- CRUZ, E. de S.; COUTO, W. S.; OLIVEIRA, R. F.; DUTRA, S. S. Adubação fosfatada na região Norte. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Brasília, DF. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, EMBRAPA-DID, 1982. p. 297-326. (EMBRAPA-DID Documentos, 21)
- FARIA, C. M. B.; BRAGA, J. M.; PINTO, O. C. B. Sorção de fósforo em cinco solos do Estado de Minas Gerais: influência de alguns fatores. *R. Ceres*, 23:166-179, 1976.
- FASSBENDER, H. W. La adsorción de fosfatos en suelos fuertemente ácidos y su evolución usando de la isoterma de Langmuir. *Fitotecnia Latinoamericana*, 3(1-2):203-216, 1966.
- FASSBENDER, H. W. Phosphate retention and its different chemical forms under laboratory conditions for 14 Costa Rica soils. *Agrochimica*, 12:512-521, 1968.
- FASSBENDER, H. W. Estudio del fósforo en suelos de America Central. IV. Capacidade de fijación del fósforo y su relación con características edáficas. *Turrialba*, 19:497-505, 1969.
- FOX, R. L. & KAMPRATH, E. J. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 34:902-907, 1970.
- GUIMARÃES, G. de A.; BASTOS, J. B.; LOPES, E. de C. Métodos de análises física, química e instrumental de solos. Belém, Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Norte, 1970. 108p. (Série: Química de Solos, v. 1, n. 1)
- HESSE, P. R. A textbook of soil chemical analysis. London, Murray, 1971. p.101-102.
- JACKSON, M. L. Soil chemical analysis; advanced course. Department of Soils. Madison, University of Wisconsin, 1969. 991p.
- JORGE, J. A. Fixação de fósforo em solos do Estado de São Paulo. *Bragantia*, 39:33-113, 1980.
- KANABO, I. A. K.; HALM, A. T.; OBENG, H. B. Phosphorus adsorption by surface samples of fine ironpan soils of Ghana. *Geoderma*, 20:299-306, 1978.
- KUO, S. & LOTSE, E. G. Kinetics of phosphate adsorption by calcium carbonate and Ca-kaolinite. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 36:725-729, 1972.
- LEAL, J. R. & VELLOSO, A. C. X. Adsorção de fosfato em latossolos sob vegetação de cerrado. *Pesq. agropec. bras.*, Sér. Agron., 8:81-88, 1973a.
- LEAL, J. R. & VELLOSO, A. C. X. Dessorção do fosfato adsorvido em latossolos sob vegetação de cerrado. II. Reversibilidade da isoterma de adsorção de fosfato em relação ao pH da solução em equilíbrio. *Pesq. agropec. bras.*, Sér. Agron., 8:89-92, 1973b.

- LOGANATHAN, P. & FERNANDO, W. T. Phosphorus sorption by some coconut-growing acid soils of Sri Lanka and its relationship to selected soil properties. *J. Sci. Food Agric.*, 31:709-717, 1980.
- LOPEZ-HERNANDEZ, I. D. & BURNHAM, C. P. The covariance of phosphate sorption with other soil properties in some British and Tropical soils. *J. Soil Sci.*, 25:196-206, 1974a.
- LOPEZ-HERNANDEZ, I. D. & BURNHAM, C. P. The effect of pH on phosphate adsorption in soils. *J. Soil Sci.*, 25:207-216, 1974b.
- McKEAGUE, J. A. & DAY, J. H. Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. *Can. J. Soil Sci.*, 46:13-22, 1966.
- MOURA FILHO, W.; BUOL, S. W.; KAMPRATH, E. J. Studies of a latosol roxo (Eutruxox) in Brazil: phosphate reactions. *Experimentiae*, 13:235-247, 1972.
- MULJADI, D.; POSNER, A. M.; QUIRK, J. P. The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite and pseudoboehmite. I. The isotherms and the effect of pH on adsorption. *J. Soil Sci.*, 17:212-229, 1966.
- OLSEN, S. R. & WATANABE, F. S. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir Isotherm. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 21:144-149, 1957.
- OWEN, G. Retention of phosphate by Malayan soils. I. The nature of phosphate retention in different soil types. *J. Rubber Res. Inst.*, 12:1-26, 1947.
- PARFITT, R. L. Anion adsorption by soils and soil materials. *Adv. Agron.*, 30:1-50, 1978.
- PRATT, P. F.; PETERSON, F. F.; HOLZHEY, C. S. Qualitative mineralogy and chemical properties of a few soils from São Paulo, Brazil. *Turrialba*, 19:491-496, 1969.
- RAJAN, S. S. S. & FOX, R. L. Phosphate adsorption by soils. I. Influence of time and ionic environment on phosphate adsorption. *Comm. Soil Sci. Pl. Anal.*, 3:493-504, 1972.
- RENNIE, D. A. & McKERCHER, R. B. Adsorption of phosphorus by four Saskatchewan soils. *Can. J. Soil Sci.*, 39:64-75, 1959.
- SA JUNIOR, P. M.; GOMES, I. F.; VASCONCELLOS, A. Retenção de fósforo em solos da Zona da Mata de Pernambuco. *Pesq. agropec. bras.*, 3:183-188, 1968.
- SANTANA, D. P. & MOURA FILHO, W. Estudos de solos do Triângulo Mineiro e Viçosa. II. Adsorção de fosfatos. *R. Ceres*, 25:301-310, 1978.
- SAUNDERS, W. M. H. Phosphate retention by New Zealand soils and its relationship to free sesquioxides, Organic matter and other soil properties. *N. Z. J. Agron. Res.*, 8:30-57, 1965.
- SINGH, R.; MÖLLER, M. R. F.; FERREIRA, W. de A. Cinética da sorção de fósforo em solos dos trópicos úmidos da Amazônia. *R. bras. Ci. Solo*, 7:
- SYERS, J. K.; BROWMAN, M. G.; SMILLIE, G. W.; COREY, R. B. Phosphate sorption by soils evaluated by the Langmuir adsorption equation. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 37:358-363, 1973.
- SYERS, J. K.; EVANS, T. D.; WILLIAMS, J. D. H.; MURDOCK, J. T. Phosphate sorption parameters of representative soils from Rio Grande do Sul, Brazil. *Soil Sci.*, 112:267-275, 1971.
- TANDON, H. L. S.; CESCAS, M. P.; TYNER, E. H. An acid-free vanadate-molybdate reagent for the determination of total phosphorus in soils. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 32:48-51, 1968.
- TAYLOR, R. W. & ELLIS, B. G. A mechanism of phosphate adsorption on soil and anion exchange resin surfaces. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42:432-436, 1978.
- UDO, E. J. & UZU, F. O. Characteristics of phosphorus adsorption by some Nigerian Soils. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 36:879-883, 1972.
- VASCONCELLOS, C. A.; BRAGA, J. M.; NOVAIS, R. F.; PINTO, O. C. B. Fósforo em dois latossolos do Estado de Mato Grosso. I. Sorção de fosfato. *Experimentiae*, 18:267-285, 1974.
- VIEIRA, L. S. O conteúdo de fósforo de alguns solos da Amazônia. Belém, Instituto do Desenvolvimento Econômico-Social do Pará, 1971. 21p. (Série Monografias nº 6)
- VIJAYACHANDRAN, P. K. & HARTER, R. D. Evaluation of phosphorus adsorption by a cross section of soil types. *Soil Sci.*, 119:119-126, 1975.
- WALKLEY, A. & BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*, 37:29-38, 1934.
- WATANABE, F. S. & OLSEN, S. R. Tests of ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO_3 extracts from soils. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 29:677-678, 1965.